

# INFLUENCIA DE LA INTERACCIÓN OCÉANO ATMÓSFERA EN LA SIMULACIÓN DEL CLIMA DE LA PENÍNSULA IBÉRICA: UN ESTUDIO CON UN MODELO REGIONAL ACOPLADO

William. D. CABOS NARVAEZ<sup>(1)</sup>, Dmitry SEIN<sup>(2)</sup>, Alfredo IZQUIERDO<sup>(3)</sup>, José Antonio DE FRUTOS<sup>(4)</sup>, Juan Ignacio PÉREZ<sup>(4)</sup>.

<sup>(1)</sup> Departamento de Física y Matemática, Universidad de Alcalá, España

<sup>(2)</sup> Alfred Wegener Institute, Helmholtz Center for Polar and Marine Research, Bremerhaven, Germany

<sup>(3)</sup> Departamento de Física Aplicada, Universidad de Cádiz, España

<sup>(4)</sup> Departamento de Automática, Universidad de Alcalá, España,  
william.cabos@uah.es

## RESUMEN

El objetivo es evaluar la relevancia de la interacción atmósfera océano en el clima de la Península Ibérica mediante el análisis de simulaciones con el modelo acoplado ROM. La componente atmosférica de ROM es el modelo regional REMO y la componente oceánica es el modelo MPI-OM. El modelo incluye un módulo dedicado a la simulación de los caudales de los ríos. Las componentes de ROM intercambian información a través del acoplador OASIS.

La comprensión de las ventajas e inconvenientes que presenta un modelo acoplado sobre otro únicamente atmosférico puede ser especialmente importante para los estudios climáticos en la Península Ibérica, dada la influencia que sobre su clima pueden ejercer el mar Mediterráneo y el Océano Atlántico. Para ello hemos comparado las simulaciones del modelo atmosférico REMO con las de un modelo regional acoplado cuya componente atmosférica es REMO. El clima de la Península Ibérica es simulado adecuadamente en ambos casos, pero el acoplamiento tiende a reducir las diferencias con el clima observado. Esta mejora depende de la variable y también de la estación y de la región considerada.

**Palabras clave:** Modelo climático, Modelado regional, Clima de la Península Ibérica, Modelo acoplado,

## ABSTRACT

We study the impact of ocean-atmosphere interaction on the Iberian Peninsula climate with the regionally coupled model ROM.

The atmospheric component of ROM is the Regional Atmospheric Model REMO and the oceanic component is MPI-OM. ROM also comprises the hydrological model HD. These components exchange information through the OASIS coupler.

In this work we would like to understand the added value of a coupled regional model with respect to a purely atmospheric model for climate studies. Potentially, the question is relevant for the Iberian Peninsula, due to the importance of the Ocean Atlantic and the Mediterranean Sea for its climate. To this end, we carried out simulations with ROM and REMO. Both models simulate correctly the climate of the Iberian Peninsula. We

found that the coupling influences the simulation of the climate in different degrees, depending on the season and atmospheric variable.

Key words: Climate Modeling, Regional modelling, Iberian Peninsula Climate, Coupled model, Ocean-atmosphere interaction

## 1. INTRODUCCIÓN

Los Modelos numéricos del Sistema Tierra (ESMs) son los instrumentos más sofisticados de los que dispone la comunidad científica para el estudio del clima global y sus mecanismos formadores. Las componentes de los ESMs representan el océano, la atmósfera, el uso del suelo, la vegetación, procesos en el océano y la atmósfera, el ciclo hidrológico, ciclos biogeoquímicos y sus interacciones (Taylor et al., 2012). Aunque los ESMs pueden ser utilizados para estudiar la evolución del clima terrestre y hacer predicciones climáticas y meteorológicas de corto y medio plazo, su resolución resulta insuficiente para estudiar el clima y el tiempo en las escalas regionales y locales. Los modelos climáticos regionales (RCMs) proporcionan una de las posibles soluciones a este problema de los ESMs. Los RCMs usan los datos proporcionados por los ESMs como condiciones iniciales y de contorno para generar información climática a más alta resolución en la región de interés.

Los modelos climáticos regionales actuales generalmente constan de una componente atmosférica y otras componentes que modelan los procesos terrestres, en tanto que sobre el océano las temperaturas de la superficie del mar y la cubierta de hielo tomadas del modelo global se prescriben a modo de condiciones de contorno. Aunque esos RCMs son suficientes para muchas aplicaciones, hay casos en los que las interacciones atmósfera-océano pueden influir de manera importante el clima regional y local (Li et al., 2012). Los modelos regionales acoplados atmósfera-océano (RAOCMs) son capaces de simular la interacción de pequeña escala entre el océano y la atmósfera, siendo una de sus ventajas la mejora de la precipitación (Ratnam et al., 2008; Li et al., 2010; Aldrian et al., 2005). Los RAOCMs también son útiles para el estudio de regiones como la Mediterránea (Somot et al., 2008; Artale et al., 2009; Dobrinski et al., 2012) y el Ártico (e.g. Rinke et al. 2003; Mikolajewicz et al. 2005; Sein et al., 2014), caracterizadas por una morfología compleja y una fuerte interacción atmósfera-océano.

La Península Ibérica, rodeada por el mar Mediterráneo y el océano Atlántico y con una marcada orografía es una de esas regiones en la que el uso de un modelo acoplado capaz de representar la interacción atmósfera-océano a pequeña escala puede mejorar los resultados de los estudios climáticos.

## 2. METODOLOGÍA

Usamos los resultados de las simulaciones realizadas con el modelo regional atmosférico REMO (Jacob et al., 2001), forzado por el reanálisis ERA40, y las comparamos con los resultados obtenidos por el modelo regional acoplado ROM (Sein et al., 2014, en revisión). En ambos caso la atmósfera estará también acoplada a un modelo hidrológico.

La componente oceánica de ROM es el modelo oceánico MPI-OM, desarrollado en el Instituto Max Planck de Meteorología (Jungclaus et al. 2013). MPI-OM incorpora un

modelo dinámico/termodinámico de hielo marino y un submodelo biogeoquímico (HAMOCC) La componente atmosférica de ROM es el modelo regional atmosférico REMO (Jacob et al. 2001) y el modelo hidrológico HD (Hagemann and Dumenil, 2001). MPI-OM tiene una malla curvilínea ortogonal con resolución espacial variable. En la región cubierta por REMO, el océano y la atmósfera interactúan, en tanto que en el resto del océano global, éste es forzado por los flujos de energía, momento y masa provenientes de la componente atmosférica del modelo global utilizado como forzamiento. El esquema de funcionamiento del modelo acoplado ROM se ilustra en la figura 1. William. D. CABOS NARVAEZ<sup>(1)</sup>, Dmitry SEIN<sup>(2)</sup>, Alfredo IZQUIERDO<sup>(3)</sup>, José Antonio DE FRUTOS<sup>(4)</sup>, Juan Ignacio PÉREZ

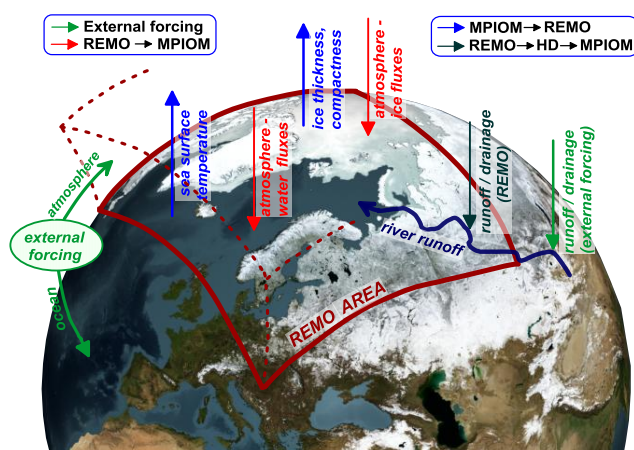


Fig.1 Esquema de acoplamiento de ROM. En el área cubierta por REMO el sistema acoplado es “libre”. Fuera de él, el océano es forzado por la atmósfera del modelo global.

La configuración del modelo que se utiliza en este trabajo se representa en la figura 2 (líneas de color negro). La resolución horizontal de MPI-OM es de 10 km latitudes medias del Atlántico Norte. La resolución disminuye gradualmente, hasta los 100 km en los mares del Sur. En la vertical, MPIOM tiene 40 niveles Z de espesor variable, con un valor mínimo de 12 metros en la capa superficial que aumentan progresivamente con la profundidad. Las regiones oceánicas cercanas a la Península Ibérica tienen la máxima resolución, permitiendo la formación de remolinos oceánicos.

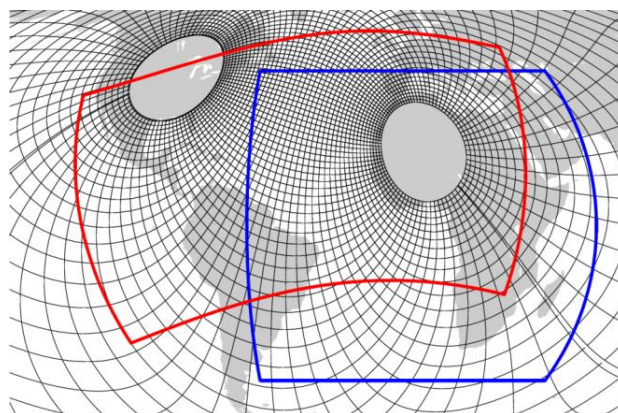


Fig.2 Mallas oceánica y atmosférica de ROM. Se muestra la malla de resolución variable de MPIOM (líneas de color negro, se dibuja cada duodécima) y el dominio de REMO utilizado en este trabajo (línea de color rojo)

El dominio de REMO cubre el Atlántico Tropical y Norte, parte de África, América del Sur y la región mediterránea. Su resolución en una malla rotada es constante, alcanza los 18 km. El modelo hidrológico HD tiene una resolución de 0.5 grados. HD, al igual que MPI-OM tiene un dominio global. El océano y la atmósfera intercambian información cada 3 horas, en tanto que HD interacciona con la MPI-OM y REMO cada 24.

Para las simulaciones presentadas se han tomado como forzamiento datos del reanálisis ERA-40, tanto como condiciones de contorno laterales y de temperatura superficial del mar para REMO sin acoplar como para forzar MPI-OM en el océano exterior a la región de acoplamiento en la simulación con ROM.

Los resultados de las simulaciones son validados con ayuda de ECA&D (European Climate Assessment & Dataset), una base de datos diarios meteorológicos de alta calidad obtenidos a partir de estaciones meteorológicas

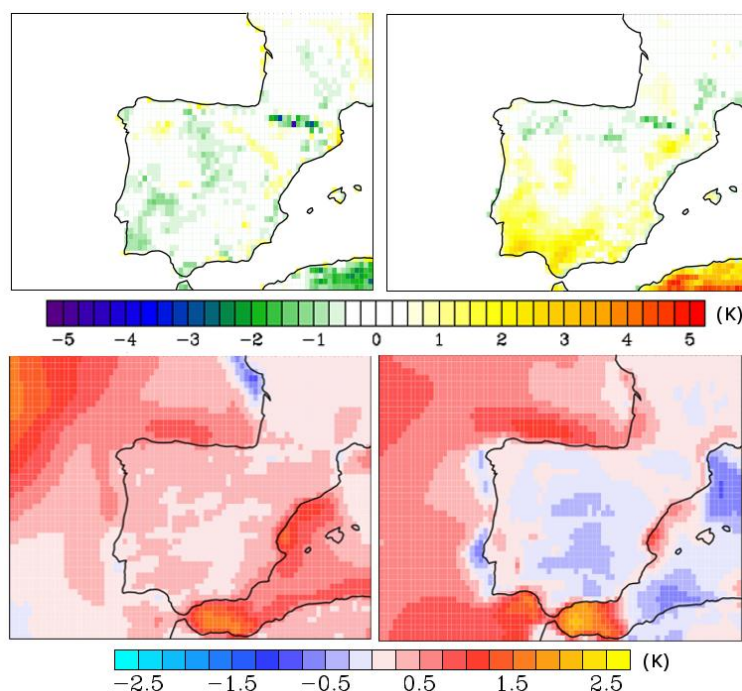


Fig.3 Temperatura del aire a dos metros. Fila superior: Diferencia ECA&D - REMO para invierno (panel izquierdo) y verano (panel derecho). Fila inferior: Diferencias ROM-REMO para invierno (panel izquierdo) y verano (panel derecho) .

### 3. RESULTADOS

En la figura 3 se representan los errores del climatologías de invierno (Diciembre, Enero y Febrero) y verano (Junio, Julio y Agosto) para la temperatura a dos metros de la superficie con respecto a ECA & D para REMO sin acoplar así como los cambios en la simulación de esta variable causados por el acoplamiento.

En ambas estaciones los errores del modelo en la Península son generalmente menores de dos grados centígrados, con excepción de los Pirineos en invierno y el sur de Portugal y la cuenca del Guadalquivir en verano. El acoplamiento introduce una corrección generalmente positiva en invierno y negativa en verano, haciendo disminuir las diferencias entre ROM y ECA&D en la mayor parte de la Península. El efecto de la interacción atmósfera-océano se refleja en una disminución de la continentalidad climática de la Península Ibérica, disminuyendo la amplitud del ciclo anual, con temperaturas más cálidas en invierno y frescas en verano. Es interesante notar que los cambios más significativos de temperatura de aire se dan sobre las regiones oceánicas cercanas a la costa, donde la interacción océano-atmósfera tiene mayor importancia relativa. Un papel importante en estas diferencias juega el afloramiento estival de aguas frías en la costa portuguesa, desde cabo Roca a cabo San Vicente, y el papel termorregulador del mar Mediterráneo, más cálido en invierno y fresco en verano en el modelo acoplado.

Los efectos del acoplamiento son también notorios en la simulación de la temperatura diaria mínima (Figura 4) y máxima (Figura 5).

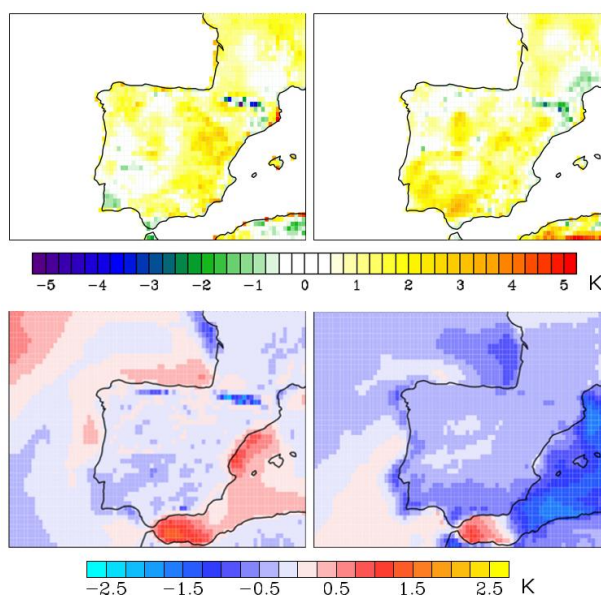


Fig.4 Temperatura diaria mínima. Fila superior: Errores del modelo sin acoplar con respecto a ECA&D para invierno (panel izquierdo) y verano(panel derecho) . Fila inferior: Diferencias entre modelo acoplado y sin acoplar para invierno (panel izquierdo) y verano(panel derecho)

REMO tiende a simular temperaturas mínimas diarias más altas que las observaciones tanto cuando está acoplado que cuando está sin acoplar, en particular sobre el sistema ibérico en invierno y la cuenca del Guadalquivir en verano, donde los errores pueden alcanzar los tres grados. El acoplamiento en ambos casos tiende a producir una disminución de esos errores. Esta mejora es más importante en el verano, especialmente en Andalucía y el sur de Portugal. El mecanismo implicado en verano parece estar relacionado con un reforzamiento de las brisas marinas nocturnas. En la región del valle del Guadalquivir, el régimen de brisas nocturnas está influenciado por la circulación de larga escala, haciendo posible la propagación de las brisas hasta el interior del valle (Hernández-Ceballos et al., 2013). En invierno el papel preponderante en los cambios

propiciados por el acoplamiento es jugado por una mayor advección de aire frío del Atlántico.

Los errores de las temperaturas diarias máximas simuladas por ROM son también relativamente pequeños en la mayor parte de la Península, especialmente en invierno, cuando las diferencias son en valor absoluto menores que dos grados, excepto en los Pirineos. En el verano, las mayores diferencias entre la temperatura máxima simulada y las observaciones se encuentran cerca de las costas, lo que indica la posibilidad de que la ausencia de la representación de la interacción entre la atmósfera y el océano en las regiones costeras puede jugar un papel importante en la generación de estos errores. Durante el verano, la interacción entre el océano y la atmósfera, que se manifiesta como afloramiento costero local en la costa portuguesa y como un enfriamiento de la temperatura superficial en el Mediterráneo occidental (excepto en el mar de Alborán), resulta en un reforzamiento de la advección de aire más frío por las brisas diurnas (la región del valle del Guadalquivir es una excepción, donde nuevamente la advección de larga escala es dominante).

La precipitación en la Península Ibérica es bien simulada tanto por ROM como por REMO, siendo el error relativo de la precipitación en general menor que el cincuenta por ciento en la mayor parte de la Península (Figura 6).

Las mayores diferencias con las observaciones en el invierno se pueden encontrar en la región de la cuenca del Tajo y la costa cantábrica. Los errores en la cuenca del Tajo pueden deberse a fenómenos locales, en tanto que el exceso de precipitación en la península cantábrica se puede deber a una advección de humedad desde el mar más fuerte que la observada.

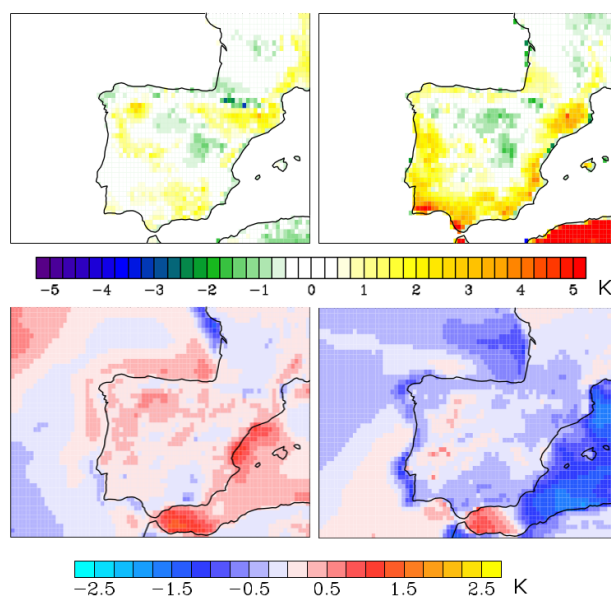


Fig.5 Temperatura diaria máxima. Fila superior: Errores del modelo sin acoplar con respecto a ECA&D para invierno (panel izquierdo) y verano(panel derecho) . Fila inferior: Diferencias entre modelo acoplado y sin acoplar para invierno (panel izquierdo) y verano(panel derecho)

El acoplamiento produce una disminución de la precipitación en el interior de la península y un aumento de hasta 10% en la costa cantábrica y la costa de Levante. Estos



aumentos de la precipitación en las costas cantábrica y de Levante pueden ser causados por un reforzamiento de los transportes de humedad marina desde el Atlántico y el Mediterráneo respectivamente (Figura 7.a).

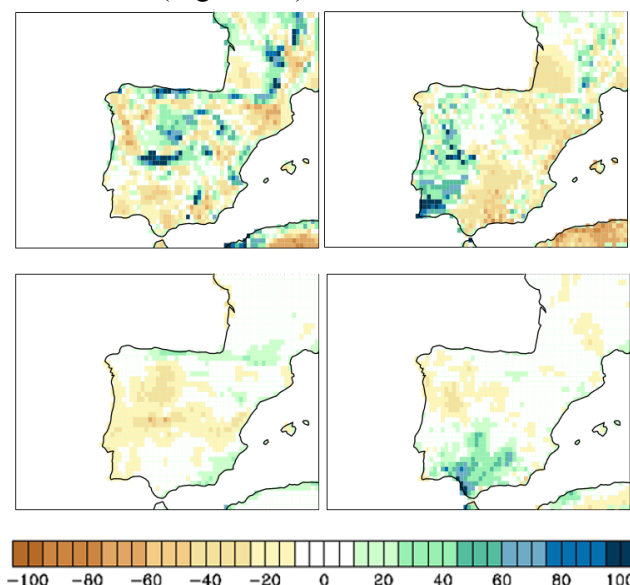


Fig.6 Precipitación. Fila superior: Errores del modelo sin acoplar con respecto a ECA&D para invierno (panel izquierdo) y verano(panel derecho) . Fila inferior: Diferencias entre modelo acoplado y sin acoplar para invierno (panel izquierdo) y verano(panel derecho) . Diferencias en tanto por ciento

En verano el efecto del acoplamiento se manifiesta con más fuerza en la precipitación en la región de la cuenca del Guadalquivir, especialmente en la costa del golfo de Cádiz. Este exceso de precipitación es alimentado en parte en las regiones interiores de la cuenca del Guadalquivir por un flujo adicional de humedad desde el mar Mediterráneo, en tanto que al aumento de las lluvias en la costa del Golfo de Cádiz también contribuye el transporte de vapor de agua sobre el Golfo de Cádiz, reforzando la contribución de la humedad proveniente del Mediterráneo (Figura 7.b).

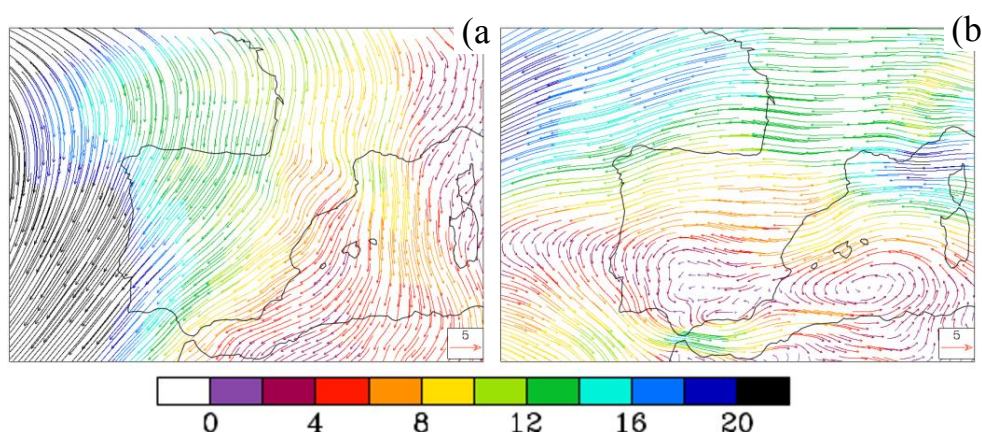


Fig.7 Diferencias en el transporte de vapor de agua entre el modelo acoplado y sin acoplar para invierno (panel izquierdo) y verano(panel derecho) .

#### 4. CONCLUSIONES

En este trabajo estudiamos la influencia de las interacciones océano-atmósfera en la simulación del clima de la Península Ibérica. Para ello comparamos la salida del modelo regional acoplado de alta resolución ROM con la salida de otra simulación llevada a cabo con el modelo regional REMO, la componente atmosférica del modelo regional acoplado. En ambas simulaciones el forzamiento externo proviene del reanálisis ERA-40.

Tanto el modelo regional acoplado como el modelo atmosférico simulan bien las climatologías de la temperatura media del aire a dos metros, la máxima diaria de la temperatura a 2 metros, la mínima diaria de la temperatura a 2 metros así como la precipitación.

El acoplamiento reduce el error de las simulaciones cuando las comparamos el clima observado. Estas mejoras dependen de la estación y están relacionadas con cambios en la circulación causados por la interacción atmósfera-océano en las regiones marítimas adyacentes a la península.

#### 5. REFERENCIAS

- Aldrian, E., Sein, D., Jacob, D., Dümenil Gates, L., Podzum, R., 2005. Modelling Indonesian rainfall with a coupled regional model. *Clim. Dyn.*, 25: 1-17, doi: 10.1007/s00382-004-0483-0.
- Artale, V., Calmanti, S., Carillo, A., Dell'Aquila, A., Herrmann, M., Pisacane, G., Ruti, P.M., Sannino, G., Struglia, M.V., Giorgi, F., Bi, X., Pal, J.S., Rauscher, S., 2009: An atmosphere ocean regional climate model for the Mediterranean area: assessment of a present climate simulation. *Clim. Dyn.* 35, 721-740
- Hagemann, S., and Dümenil Gates, L.: 2001, Validation of the hydrological cycle of ECMWF and NCEP reanalyses using the MPI hydrological discharge model, *J Geophys Res* 106, 1503-1510.
- Hernández-Ceballos M.A., Adame J.A., Bolívar J.P., De la Morena B.A. A mesoscale simulation of coastal circulation in the Guadalquivir valley (southwestern Iberian Peninsula) using the WRF-ARW model. *Atmos. Res.*, 124 (2013), pp. 1-20
- Jacob, D., 2001: A note to the simulation of the annual and interannual variability of the water budget over the Baltic Sea drainage basin. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 77, 1-4, 61-73.
- Jungclaus, J. H., N. Fischer, H. Haak, K. Lohmann, J. Marotzke, D. Matei, U. Mikolajewicz, D. Notz, and J. S. vonStorch, 2013: Characteristics of the ocean simulations in MPIOM, the ocean component of the MPI-Earth system model, *J. Adv. Model. Earth Syst.*, 5, 422-446, doi:10.1002/jame.20023.
- Li T., Zhou G. Q. Preliminary results of a regional air-sea coupled model over East Asia. 2010: *Chin Sci Bull*, 2010, 55: 2295-2305
- Li, H., M. Kanamitsu, and S.-Y. Hong. 2012: California reanalysis downscaling at 10 km using an ocean-atmosphere coupled regional model system, *J. Geophys. Res.*, 117, D12118, doi:10.1029/2011JD017372



Mikolajewicz, U., Sein, D., Jacob D., Kahl, T., Podzun, R., Semmler, T., (2005) Simulating Arctic sea ice variability with a coupled regional atmosphere-ocean-sea ice model. *Meteorologische Zeitschrift*, 14, No. 6, pp.793-800

Ratnam, J.V., Giorgi, F., Kaginalkar, A., Cozzini, S., 2008. Simulation of the Indian monsoon using the RegCM3-ROMS regional coupled model. *Clim. Dyn.* 33, 119-139.

Rinke, A., R. Gerdes, K. Dethloff, T. Kandlbinder, M. Karcher, F. Kauker, S. Frickenhaus, C. Köberle and W. Hiller, 2003. A case study of the anomalous Arctic sea ice conditions during 1990: insight from coupled and uncoupled regional climate model simulations. *Journal of Geophysical Research*, 108 (D9), 4275, doi:10.1029/2002JD003146

Sein, D.V., Koldunov, N.V., Pinto, J.G., Cabos, W. (2014) Sensitivity of simulated regional Arctic climate to the choice of coupled model domain. *Tellus A*, in press, 2014.

Somot, S., Sevault, F., Déqué, M., Crépon, M., 2008. 21st Century climate change scenario for the Mediterranean using a coupled atmosphere- ocean regional climate model. *Glob. Planet Change* 63, 112-126.

Taylor K.E., Stouffer R.J., Meehl G.A. (2012): An overview of CMIP5 and the experiment design. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 93: 485–498.